

МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИИМИДНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.И. Купчишин^{1, 2)}, Б.Г. Таипова²⁾, А.А. Купчишин²⁾

¹⁾Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²⁾Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан,
ankupchishin@mail.ru

Изучено влияние содержания различных наполнителей на механические свойства композиционного материала на основе полиимида. Предложены физико-механические модели, удовлетворительно описывающие основные особенности зависимости деформации ε от напряжения σ .

Введение

В настоящее время современная техника использует 4 основных группы (класса) материалов со специфическим комплексом технологических и эксплуатационных свойств: металлы, керамика, полимерные и углеродные материалы. Их свойства определяются, прежде всего, типом связей, образующих соответствующие структуры [1-3]. Как известно, наполнение – один из основных способов создания композиционных материалов: резин, клеев, компаундов, лакокрасочных и других материалов с заданными технологическими и эксплуатационными свойствами. При создании новых материалов главной задачей является улучшение комплекса их свойств. Цели введения наполнителей в полимеры следующие: придание композитам эксплуатационных свойств, которыми они ранее не обладали (тепло-, электропроводность, фрикционные или антифрикционные свойства, пониженная горючесть и т.д.); улучшение технологических свойств и перерабатываемости (повышение или снижение текучести, улучшение формоустойчивости, снижение усадки); изменение в широких пределах физико-механических, химических, оптических свойств; утилизации отходов и решение экологических задач, расширение ассортимента; снижение стоимости. При этом одно из основных свойств – сопротивление материала разрушению. Чаще всего это достигается применением армирующих наполнителей (волокон). Добавление до 5 – 15 % количества жесткоцепных молекул приводит к существенному росту физико-механических характеристик материала. Например, при добавлении к хрупкому полистиролу до 15 % каучука получают ударопрочный композитный материал. Смешивая поликарбонат, полибутиадитерефталат и каучук, получают композицию с повышенной ударной прочностью, морозостойкостью, устойчивостью к агрессивным и другими средам.

Основные результаты

В данной работе изучено влияние различных наполнителей на физико-механические свойства ряда композиционных пленок и предложены модели разрушения.

В качестве наполнителей использовались полиэтилентерефталат (ПЭТФ, лавсан) и поликарбонат (ПКАР).

Образцы изготавливались методом механического смешения на основе полиимидного лака и

растворов с различными концентрациями второго компонента.

Механические испытания композиционных материалов проводились на разрывной машине типа РМУ-0.05-1 со скоростью раздвижения зажимов 36.09 ± 0.05 мм/мин. Перемещение захвата связанного с измерителем не превышало 0.1 мм. Испытания велись в виде одноосного растяжения с помощью специального реверсора при постоянной нагрузке и температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, относительной влажности воздуха $(45 \pm 5)\%$. Воздействие механической нагрузки производилось до полного разрыва образцов. Разрывная машина компьютеризирована и снабжена соответствующим программным обеспечением в виде стандартного Windows-приложения [4, 5].

Образцы в виде пленок специальными зажимами прикреплялись к разрывной машине. Рабочая область их составляла 50 мм (длина), 5 мм (ширина). Толщины: у полиимида – 35 мкм, композитных материалов – (70 - 140) мкм.

В таблице 1 представлены данные относительного удлинения и напряжения необлученных полимерных композиций на основе ПИ. Видно, что введение наполнителя ПЭТФ 2 мас.% приводит к улучшению механических свойств материала.

Таблица 1. Зависимость относительного удлинения от напряжения.

ПИ		ПИ _{АВ} + 2 мас.% ПКАР		ПИ _{АВ} + 2 мас.% ПЭТФ	
ε , %	σ , МПа	ε , %	σ , МПа	ε , %	σ , МПа
36	51.7	59.5	34.2	104.8	75.73

При этом установлено, что введение концентрации 2 мас.% полиэтилентерефталата увеличивает прочность материала на 46 % и пластичности в 2.8 раз по сравнению с чистым полиимидом, а введение такой же концентрации поликарбоната приводит к уменьшению прочности на 34 % и к увеличению пластичности на 65 % по сравнению с чистым полиимидом. Улучшение механических свойств композитных материалов с наполнителем из ПЭТФ связано с тем, что происходит структурирование цепей полиимида пластичным каркасом полиэтилентерефталата. Изменения, связанные с введением поликарбоната, определяются с особенностью сетчатой матрицы полиимида с

одной стороны и с другой – с высокой жесткостью цепи для поликарбонатов.

Для описания физико-механических свойств предложены модели катастрофического разрушения материала [6].

В отличие от предыдущих работ [6] исследовалась зависимость относительного удлинения от напряжения (а не наоборот) для необлученных композитных материалов при различных наполнителях, поскольку для такого эксперимента именно ε является функцией, а σ – аргументом.

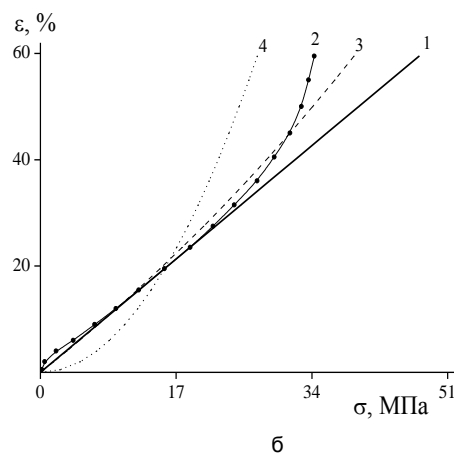
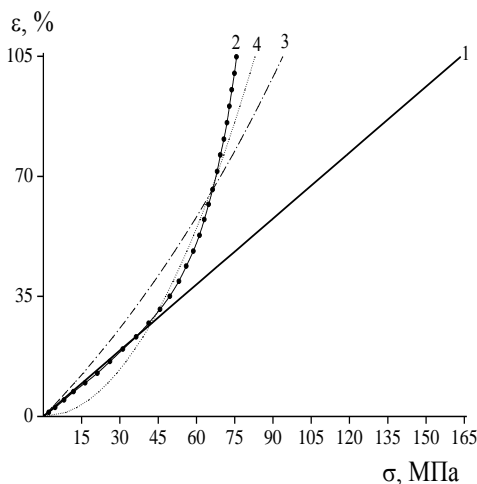


Рис. 1. Зависимость относительного удлинения от напряжения для композитного материала: а – ПИАВ+ 2 масс.% ПЭТФ; б – ПИАВ+ 2 масс.% ПКАР. 1 – закон Гука, 2 – эксперимент, 3 – экспоненциальная модель; 4 – параболическая модель.

Использовалась экспоненциальная модель, в рамках которой зависимость деформации ε от напряжения σ представляется в виде:

$$\varepsilon = \exp\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right) - 1, \quad (1)$$

здесь σ_0 – это величина напряжения, при котором $\varepsilon+1$ увеличивается в e -раз.

При разложении выражение (1) в ряд можно получить, что при $\sigma \ll E$ оно переходит в закон Гука. Аналогичным образом, можно вывести зависимость ε от σ для экспоненциально-квадратичной и параболической моделей:

$$\varepsilon = \exp\left(\frac{\sigma^2}{E^2}\right) - 1, \quad \varepsilon = \frac{\sigma^2}{E^2}. \quad (2)$$

На рисунке 1 представлены экспериментальные и расчетные зависимости ε от σ для различных моделей и композитов.

Как видно из рисунков, лучше всего экспериментальные данные для композитного материала с ПЭТФ описывает параболическая модель, а для композиции с поликарбонатом – экспоненциальная модель.

Заключение

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

Вид и концентрация наполнителей приводит к существенным изменениям физико-механических свойств материала. Установлено, что концентрация с 2 мас.% ПЭТФ приводит к росту прочности материала на 46 % и к монотонному увеличению пластичности в 2,8 раз. Введение 2 мас. % поликарбоната ведет к увеличению пластичности в 1,65 раза, с соответствующим понижением прочности на 34 %.

Предложены различные модели при одноосном нагружении материалов. Наилучшее согласие с экспериментом дают экспоненциальная и параболическая модели.

Список литературы

1. Кудайкулова С.К., Искаков Р.М., Кравцова В.Д., Умерзакова М.Б., Abadie.M., Жубанов Б.А. и др. Полимеры специального назначения. Алматы: 2006. 310 с.
2. Панова Л.Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов: учеб. пособие. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2010. 68 с.
3. Шевченко В.Г. Основы физики полимерных композиционных материалов /учебное пособие. М., 2010. 98 с.
4. Дискант Г.А., Заманова С.К., Купчишин А.И., Колесов Г.Е., Мурадов. А.Д. // Вестник Казахского национального университета им. аль-Фараби. Серия физическая, 2005. № 2(20). С. 75-79.
5. Комаров Ф.Ф., Таипова Б.Г., Купчишин А.И., Мурадов А.Д.// Перспективные материалы. 2013. № 4. С. 53-58.
6. Купчишин А.И., Таипова Б.Г., Купчишин А.А., Кожамкулов Б.А.// Механика композитных материалов. 2015. Т. 51, № 1. С.159 – 164.

MODELS SATISFACTORILY OF COMPOSITE MATERIAL BASED ON POLYIMIDE

A.I. Kupchishin^{1,2)}, B.G. Taipova²⁾, A.A. Kupchishin²⁾

¹⁾Al-Farabi Kazakh National University, 71 al-Farabi Ave., Almaty, 050040, Kazakhstan

²⁾Kazakh National Pedagogical University Abai, Almaty,, Kazakhstan, ankupchishin@mail.ru

The influence of content of different fillers to the mechanical properties of composite material based on polyimide. Physical and mechanical models satisfactorily describing the main features of dependence the stress-strain were proposed.